

Claudio Fossati, Michele Manghi, Gianni Pavan & Marco Priano

Stima acustica della crescita di un capodoglio (*Physeter macrocephalus* Linnaeus, 1758) ricatturato in Mar Ligure

Riassunto – Nel giugno 1995, al largo di La Spezia (Mar Ligure), fu avvistato, fotoidentificato e seguito acusticamente un capodoglio *Physeter macrocephalus*, e furono registrate le sue vocalizzazioni. Circa 15 mesi più tardi, nel settembre del 1996, l'animale fu "ricatturato", riconosciuto tramite la comparazione del profilo della coda e nuovamente registrato acusticamente al largo di Calvi (Corsica). Applicando un particolare metodo di analisi ai segnali acustici registrati durante i due successivi avvistamenti, si sono potute determinare le dimensioni del capo dell'animale e, quindi, le sue dimensioni complessive. L'animale risultò cresciuto di circa 30 cm nel periodo intercorrente la cattura e la ricattura. Questo metodo, per la prima volta applicato in Mar Mediterraneo, costituisce una valida opportunità per approfondire gli studi di dinamiche individuali e di popolazione dei capodogli del Mediterraneo.

Parole chiave: Mar Ligure, capodoglio, analisi acustica, fotoidentificazione, IPI.

Abstract – Acoustic assessment of a recaptured sperm whale's (*Physeter macrocephalus* Linnaeus, 1758) body growth in the Ligurian Sea (Italy).

In June 1995, in the Ligurian Sea off La Spezia, an isolated sperm whale *Physeter macrocephalus* L., 1758 was acoustically detected, recorded, tracked and sighted. Pictures of its fluke were taken. About 15 months later, September 1996, off Calvi (Corse, FR), the same animal was sighted again and recognized thanks to the comparison of the natural markings on its fluke. Audio recordings were collected as well. Through the application of the acoustic method to the two recordings dataset, it was possible to determine the length of the animal. During the 15 months lapse, its dimension augmented of about 30 centimetres. The acoustic method, never applied in the Mediterranean Sea before the event described, proves to be a valid opportunity to investigate the individual and population dynamics among sperm whales of the Mediterranean Sea.

Key-words: Ligurian Sea, sperm whale, acoustic analysis, photo identification, IPI.

Introduzione

Dal 1989, il Centro Interdisciplinare di Bioacustica e Ricerche Ambientali dell'Università di Pavia conduce crociere di ricerca nel Mediterraneo con lo scopo di studiare il comportamento acustico dei cetacei e le loro relazioni con l'ambiente circostante. Durante queste crociere è stato più volte possibile fotoidentificare i

capodogli rilevati e seguiti acusticamente mediante l'uso di idrofoni trainati (Pavan & Borsani, 1997; Priano *et al.*, 2001).

Secondo Arnborn (1987), il capodoglio (*Physeter macrocephalus* L., 1758) può essere identificato individualmente grazie ai *natural markings* presenti sul profilo della pinna caudale.

Organizzando in un catalogo le fotografie delle code scattate al momento dell'immersione, è possibile verificare eventuali ricatture utilizzando la permanenza dei *natural markings* peculiari di ciascun individuo (Hammond, 1986; Whitehead, 1990; Whitehead *et al.* 1992).

Negli anni successivi all'esperimento descritto in questo lavoro, numerosi gruppi di ricerca hanno contribuito alla costituzione di un catalogo comune per la raccolta e la condivisione delle fotografie identificative di capodogli del Mar Mediterraneo e dell'Atlantico settentrionale – NAMSC – North Atlantic & Mediterranean Sperm Whale Catalogue (Huele *et al.*, 2000), successivamente confluito nel progetto Europhlukes.

Materiali e Metodi

Dal 1991 al 1997 il Centro di Bioacustica ha organizzato e svolto diverse crociere di ricerca espressamente dedicate allo studio dell'acustica del capodoglio, totalizzando 110 giorni in mare, 3.400 miglia nautiche percorse e 580 ore di monitoraggio acustico (Priano *et al.*, 2001). Le registrazioni di repertorio acustico di capodoglio effettuate in tale periodo, conservate e classificate nella nostra fonoteca, ammontano a più di 100 ore. La ricerca in mare, condotta su *motorsailer* di 12-14 m, si è avvalsa di un idrofono trainato caratterizzato da basso rumore ed elevata larghezza di banda (> 40 kHz), collegato a un registratore DAT (larghezza di banda 22 kHz) (Pavan & Borsani, 1997) e a un PC per la visualizzazione degli spettrogrammi audio; tale strumentazione rende possibile l'ascolto continuo durante la navigazione, la registrazione dei segnali acustici e il *tracking* delle sorgenti.

Le rotte indicative delle crociere del 1995 e 1996, oggetto di questo studio, sono riportate nella tabella 1.

Tab. 1 - Dati generali crociere 1995 e 1996.

Tab. 1 - Data overview of 1995 and 1996 cruises.

| | Crociere giugno 1995 | Crociere settembre 1996 |
|--------------------------|------------------------------------------|-------------------------|
| Imbarcazione | Motorsailer Carolin 13.50 m | Motorsailer Aleph 16 m |
| Rotta indicativa | La Spezia-S. Remo - S. Florent-La Spezia | S. Remo-Calvi - S. Remo |
| Miglia percorse | 340 nm | 435 nm |
| Registrazioni capodoglio | 7h20min | 27h |

Tab. 2 - Dettagli del tracking acustico e degli avvistamenti.

Tab. 2 - Acoustic tracking and sightings details.

| ID individuo | Lat | Long | Ac. tracking | N° avvist. | Luogo |
|--------------|---------|---------|--------------|------------|---------------------|
| SW0695 | 43°46'N | 09°20'E | 8h25min | 8 | Largo di La Spezia |
| SW0996a | 42°43'N | 08°52'E | 4h20min | 3 | Calvi, Corsica (FR) |

Per i capodogli è possibile stimare le dimensioni anche tramite l'applicazione di un metodo acustico (Clarke, 1978; Gordon, 1991; Goold, 1996; Pavan *et al.*, 1997) basato sulla misura dell'IPI, *Inter Pulse Interval* (Norris & Harvey, 1972) di ciascun *click*. Questo tipo di analisi permette infatti di distinguere, all'interno di ciascun *click*, almeno due impulsi successivi (Fig. 1). Il primo, definito "impulso diretto", proviene dall'organo di produzione del suono, situato anteriormente allo spermaceti dell'animale. Il secondo, al contrario, arriva all'idrofono dopo una riflessione in senso longitudinale interna allo spermaceti. La misura del ritardo fra i due impulsi, tradotta in distanza, corrisponde al doppio della lunghezza dello spermaceti. Clarke (1978) e Gordon (1991) hanno elaborato ciascuno un'equazione che, applicata alla misura del ritardo, e quindi alla dimensione dello spermaceti, permette di risalire alle dimensioni totali dell'animale.

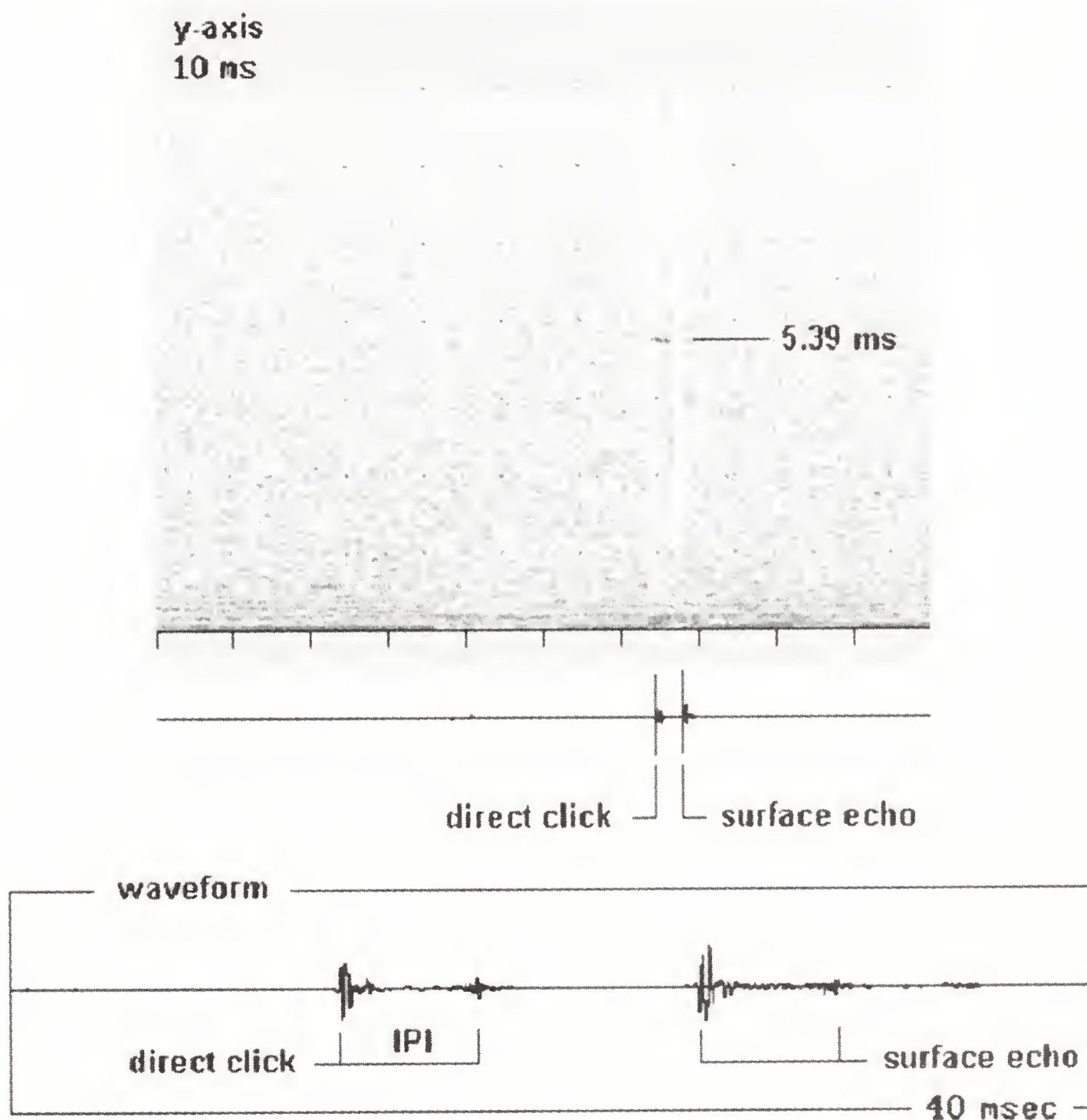


Fig. 1 - Visualizzazione (spettrogramma e forma d'onda) dell'IPI relativo a un *click* di SW0996. Notare la stabilità del ritardo (5,39 ms) sia nel *click* principale (*direct click* in figura) che nel suo eco sulla superficie del mare (*surface echo*).

Fig. 1 - Spectrogram and waveform of one IPI extracted from a SW0996 *click*. Notice the delay stability (5.39 ms) in both the *direct click* and its echo from the sea surface.

Una funzione del software sviluppato internamente al Centro di Bioacustica, rende agevole e affidabile la misura dell'IPI visualizzandola graficamente in tempo reale (Pavan *et al.*, 1997). Il metodo, applicato in tempo reale alle registrazioni effettuate in mare, consentì di discriminare i vari capodogli presenti e di seguire acusticamente il solo capodoglio identificato. La successiva analisi delle registrazioni ha consentito di misurare accuratamente il valore dell'IPI su un ampio campione e di evidenziare la bassa variabilità dello stesso anche durante immersioni consecutive.

Risultati

Nel giugno 1995, durante una crociera di ricerca in Mar Ligure, un capodoglio, denominato SW0695 (Tab. 2) fu acusticamente individuato e seguito per più di otto ore al largo di La Spezia. Fu avvistato in superficie per otto volte consecutive e le fotografie ottenute permisero la sua identificazione. Il materiale fotografico ottenuto fu incluso nel catalogo di capodogli fotoidentificati del Centro di Bioacustica e Ricerche Ambientali dell'Università di Pavia (Priano *et al.* 1997) e nel catalogo NAMSC.

Il *tracking* (inseguimento) acustico permise di ottenere diverse ore di registrazione di alta qualità delle sue vocalizzazioni.

Durante una crociera di ricerca nel settembre 1996, sette capodogli furono rilevati al largo di Calvi (Corsica, FR). Tre di questi furono fotoidentificati. Degli stessi animali furono raccolte diverse ore di registrazioni acustiche. Fra i tre animali fotoidentificati, la comparazione dei *natural markings* delle code (Dufault and Whitehead, 1995) permise di riconoscere l'animale SW0695, nell'occasione nominato SW0996A (Fig. 2).

Grazie alla visualizzazione della misura dell'IPI rilevata sui click emessi subito dopo le immersioni fotoidentificate (Pavan *et al.*, 2000), questo individuo fu seguito e registrato separatamente dagli altri per più di quattro ore (Tab. 2). In entrambi gli avvistamenti, le dimensioni dell'animale, stimate a vista, furono valutate fra i 12 e i 13 m.

Dalle registrazioni raccolte dall'animale SW0695 su 8 cicli di immersione consecutivi, fu possibile estrarre un valore medio dell'IPI calcolato da 756 *click* pari a 5,17 millisecondi (Tab. 3) che, secondo l'equazione proposta da Clarke (1978), corrispondono ad una lunghezza totale del corpo di 11,65 m, mentre applicando la formula proposta da Gordon (1991) il valore risulta essere di 12,33 m.

Nelle registrazioni effettuate nel 1996, su 3 immersioni successive dello stesso animale, la durata media dell'IPI rilevata dall'analisi di 334 *click* fu di 5,39 millisecondi, corrispondente a una lunghezza di 11,99 m secondo Clarke (1978) e di 12,62 m secondo Gordon (1991).

Tab. 3 - Click analizzati e statistica.

Tab. 3 - Analysed clicks.

| Individui | N | Somma | Media | Varianza |
|-----------|-----|-----------|--------|----------|
| SW0695 | 756 | 3909.6299 | 5.1714 | 0.0046 |
| SW0996A | 334 | 1800.0733 | 5.3894 | 0.0017 |

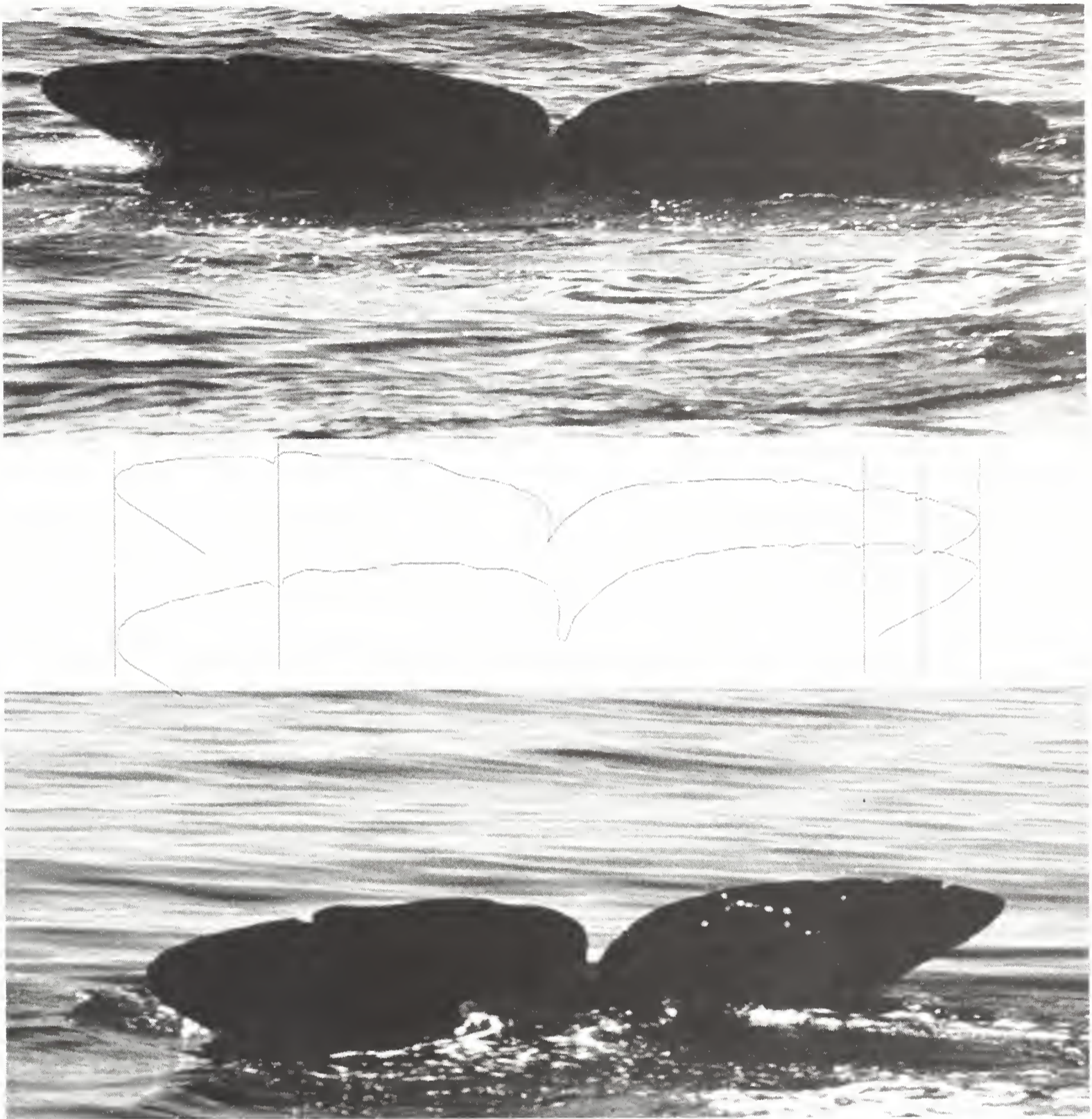


Fig. 2 - Comparazione dei profili delle code risultanti dalle foto ID del giugno 1995 (in alto) e del settembre 1996 (in basso).

Fig. 2 - Comparison of the tails' edge from the photo-id taken in 1995 (upper picture) and 1996 (lower picture).

La differenza tra la media degli IPI dei due campioni (SW0695 e SW0996A) è statisticamente significativa ($F_{1,1088} = 2939,387, P < 0,01$) (Tab. 4).

Tab. 4 - Test ANOVA.

Tab. 4 - ANOVA test.

| Fonte di variazione | Devianza | Gradi di libertà | Varianza | F | Valore di P | F critico |
|---------------------|----------|------------------|----------|----------|-------------|-----------|
| Tra gruppi | 11.00643 | 1 | 11.00643 | 2939.387 | <0.01 | 6.658183 |
| Entro gruppi | 4.073976 | 1088 | 0.003744 | | | |
| Totale | 15.0804 | 1089 | | | | |

L'incremento delle dimensioni nel periodo di tempo intercorso fu quindi di 34 e 29 cm rispettivamente, secondo la formula applicata.

La lunghezza totale del corpo ottenuta in entrambe le rilevazioni corrisponde a un individuo maschio di 9 – 10 anni di età (Berzin, 1971). L'interessante dato sul valore di crescita ottenuto mediante il metodo acustico rientra negli intervalli di crescita descritti da Berzin per capodogli maschi di quell'età.

Discussione

L'applicazione di questo metodo è strettamente legata alla stabilità dell'IPI rilevato, a sua volta dipendente da una serie di fattori, alcuni dei quali ancora poco noti. In particolare, la qualità della strumentazione di rilevamento e analisi, il rapporto fra segnale e rumore ambiente e la corretta profondità dell'idrofono sono condizioni essenziali per l'ottenimento di misure IPI affidabili.

La possibilità di visualizzare in tempo reale la misura dell'IPI, permette di seguire il comportamento individuale anche di animali in gruppo, ottenendo nel contempo informazioni circa la loro taglia, età e, nel caso di dimensioni superiori ai 12 m, anche sul sesso. In questa specie, infatti, solo i maschi adulti superano tale valore.

Questi primi risultati ottenuti costituiscono un'incoraggiante base per lo sviluppo del metodo acustico anche nello studio delle dinamiche individuali e di gruppo dei capodogli mediterranei, da affiancare agli strumenti tradizionali di fotoidentificazione.

Ringraziamenti

La ricerca è stata eseguita grazie ai finanziamenti messi a disposizione dall'Ispettorato Centrale per la Difesa del Mare, Ministero dell'Ambiente, Roma.

L'analisi acustica dei dati e lo sviluppo delle tecnologie impiegate sono state possibili grazie al finanziamento dell'Office of Naval Research degli Stati Uniti – Grant ONR N00014-99-1-0709.

Desideriamo inoltre ringraziare gli skipper delle imbarcazioni utilizzate per le crociere del 1995 e 1996, rispettivamente Olga Arp e Gionata Montesi, la Marina Militare Italiana e l'Associazione Ambiente Mare di Roma.

Bibliografia

- Arnborm T., 1987 - Individual identification of sperm whale. *Rep. Int. Whal. Comm.*, 37: 201-204.
- Berzin A., 1971 - The sperm whale. Translated from Russian. *Israel program for scientific translations*, Jerusalem, 1972.
- Clarke M.R., 1978 - Structure and proportions of the spermaceti organ in the sperm whale. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.*, 58: 1-17.
- Dufault S. & Whitehead A., 1995 - An assessment of changes with time in the marking pattern used for photoidentification of individual sperm whales, *Physeter macrocephalus*. *Marine Mammal Science*, 11 (3): 335-343.
- Goold J. C., 1996 - Signal processing techniques for acoustic measurement of sperm whale body lengths. *J. Acoust. Soc. Am.*, 100 (5): 3431-3441.
- Gordon J. C. D., 1991 - Evaluation of a method for determining the length of sperm whales (*Physeter catodon*) from their vocalizations. *J. Zool.*, London, 224: 310-314.

- Hammond P. S., 1986 - Estimating the size of naturally marked whale populations using capture-recapture techniques. *Rep. Int. Whal. Comm.* (Special Issue 8): 253-282.
- Huele R., Udo de Haes H. A., Ciano J. N. & Gordon J., 2000 - Finding similar trailing edges in large collections of photographs of sperm whales. *J. Cetacean Res. Manage*, 2 (3): 173-176.
- Norris K. S. & Harvey G., 1972 - A theory of the function of the spermaceti organ of the sperm whale *Physeter catodon*. In: Animal Orientation and Navigation. Galler S. R., Schmidt Koenig K., Jacobs G. J. & Belleville R. E. (eds.). *NASA Spec. Publ.*, 262: 397-417.
- Pavan G., Priano M., Manghi M. & Fossati C., 1997 - Software tools for real time IPI measurements on sperm whale sounds. Underwater Bio-Sonar and Bioacoustic Symposium. *Proc. I.O.A.*, Loughborough, UK, 19 (9): 157-164.
- Pavan G. & Borsani F., 1997 - Bioacoustics research on cetaceans in the Mediterranean sea. *Mar. Fresh. Behav. Physiol.*, 30: 99-123.
- Pavan G., Hayward T. J., Borsani F., Priano M., Manghi M., Fossati C. & Gordon J., 2000 - Time patterns of sperm whales codas recorded in the Mediterranean Sea 1985 -1996. *J. Acoust. Soc. Am.* 107 (6): 3487 – 3495.
- Priano M., Pavan G., Manghi M. & Fossati C., 1997 - The Cetacean Sound Library of the Interdisciplinary Center for Bioacoustics and Environmental Research of the University of Pavia. *Proc. Underwater Bio-Sonar and Bioacoustic Symposium. Proc. I.O.A.*, Loughborough, UK, 19 (9): 245-249.
- Priano M., Pavan G., Manghi M. & Fossati C., 2001 - Rilievi acustici sul capodoglio (*Physeter macrocephalus*) nel Mar Mediterraneo Centrale. *Natura*, Milano, 90 (2): 181-188.
- Whitehead H., 1990 - Mark-recapture estimates with emigration and reimmigration. *Biometrics*, 46: 473-479.
- Whitehead H., Waters S. & Lyrholm T., 1992 - Population structure of female and immature sperm whales (*Physeter macrocephalus*) off the Galapagos Islands. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 49: 78-84.

Ricevuto: 7 gennaio 2003

Approvato: 20 marzo 2003